// PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 22. 3. März 1900. 1. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen:
J. Elster und H. Geitel, Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektricität. S. 245.
E. Merritt und S. J. Barnett, Der Einfluss einer Elektrisierung auf die Oberflächenspannung des Wassers und Quecksilbers. S. 249.
G. C. Schmidt, Über den Einfluss der Temperatur auf das Potentialgefälle in verdünnten Gasen. S. 251.
Vorträge und Reden:
L. Boltzmann, Gedenkrede auf Joseph Loschmidt. S. 254.
Referate:
A. Föppl, Die Abhängigkeit der Bruchgefahr von der Art des Spannungszustandes. S. 257.
C. v. Bach, Zur Frage: Besteht bei Sandstein Proportionalität zwischen Dehnungen und Spannungen? S. 258.
A. Martens, Zur Frage der Abhängigkeit der Bruchgefahr von der Art des Spannungszustandes. S. 259.
G. Bredig und R. Müller von Berneck, Über anorganische Fermente I. S. 259.
R. Abegg, Berichtigung. S. 260.
Briefkasten. S. 260.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektricität.[1])

Von J. Elster und H. Geitel.

Die Untersuchungen über das elektrische Verhalten der Gase haben in den letzten Jahren zu ganz bestimmten Vorstellungen geführt. Hiernach ist ein Gas bei gewöhnlicher Temperatur und Atmosphärendruck für Potentialdifferenzen unterhalb einer gewissen Grenze ein fast vollkommener Nichtleiter, doch kann es durch verschiedene Einflüsse in einen Zustand versetzt werden, in dem es eine merkliche Leitfähigkeit zeigt.

In dieser Weise wirkt z. B. die Gegenwart von glühenden Körpern und Flammen und die Durchstrahlung mit Röntgen- oder Becquerelstrahlen.

Man kann die so erworbene Eigenschaft des Gases auf das Vorhandensein ungemein kleiner entgegengesetzt elektrischer Teilchen in ihm zurückführen, deren Gesamtladung, wenn eine unipolare Leitfähigkeit vor der Hand ausgeschlossen wird, sich zu Null ergänzt und die in dem Gase wie in einem absolut isolierenden Mittel schweben. Diese Teilchen betrachtet man als die Produkte eines Zerfalles einzelner Gasmoleküle und bezeichnet sie nach Analogie des für Elektrolyte gebräuchlichen Ausdrucks als Ionen, doch ist festzuhalten, dass eine Identität des Wesens der Gas-Ionen mit denen der Elektrolyte nicht behauptet werden soll. Es ist im Gegenteil mehr als wahrscheinlich, dass sie von jenen durchaus verschieden sind und nur insofern mit ihnen übereinstimmen, als sie sehr kleine Teilchen ponderabler Materie in Verbindung mit hohen elektrischen Ladungen darstellen.

Die Theorie der Ionenleitung der Gase ist zuerst von Herrn W. Giese[1]) auf Grund von Beobachtungen der elektrischen Eigenschaften von Flammengasen aufgestellt worden, später von Herrn A. Schuster[2]) weitergeführt, und hat auch uns schon gute Dienste geleistet bei Untersuchungen über die Elektricitätserzeugung beim Kontakt von Gasen und glühenden Körpern,[3]) in letzter Zeit ist sie die Grundlage einer grossen Reihe von Arbeiten gewesen, die von Herrn J. J. Thomson und seinen Schülern veröffentlicht sind und das Verhalten von künstlich leitend gemachten Gasen zum Gegenstande haben.

Es könnte befremdlich erscheinen, dass bis jetzt noch nicht der Versuch gemacht ist, das Problem der atmosphärischen Elektricität vom Standpunkte der Ionentheorie aus zu behandeln. Der Grund, weshalb dies nicht geschehen ist, liegt darin, dass man die geringe natürliche Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft meist übersah und dadurch die Grundlage beseitigte, auf der man aufbauen konnte. So wollte auch Herr Arrhenius, dem die Theorie der atmosphärischen Elektricität eine wertvolle Anregung verdankt, die Annahme einer gewissen Leitfähigkeit der Luft ausdrücklich auf den Fall beschränkt wissen, dass sie von kurzwelligem Sonnenlichte durchstrahlt wird.

Es lässt sich nun in der That zeigen, dass die natürliche atmosphärische Luft sowohl im Freien wie auch innerhalb geschlossener Räume von nicht zu kleinen Dimensionen ein unzweifelhaftes Leitvermögen hat. Auf Grund mehrjähriger Messungen der Elektricitätszerstreuung in der freien Atmosphäre ist schon vor mehreren Jahren Herr Linss[4]) zu dem Ergebnisse gelangt,

1) Vorgetragen am 16. Novbr. 1899 in dem Verein für Naturwissenschaft zu Braunschweig von H. Geitel.

1) W. Giese, Wied. Ann. 17, S. 570, 1882.
2) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. 37, S. 317, 1884.
3) J. Elster und H. Geitel, Wien. Ber. 97, S. 79, 1888.
4) W. Linss, Meteorol. Zeitschrift 1887, S. 345; und Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 38.

dass ein auf konstantem Potentiale gehaltener elektrisierter Körper in der Luft in etwa 100 Minuten eine Elektricitätsmenge verliert, die seiner Gesamtladung gleichkommt. Es blieb noch zweifelhaft, ob nicht der Hauptanteil dieses Verlustes auf die Berührung des Versuchskörpers mit den in der Luft suspendierten Staubteilchen zurückzuführen sei, auch war die benutzte Methode nicht geeignet, völlig befriedigende Rechenschaft von dem Elektricitätsflusse über die isolierende Stütze hin zu geben. Leider haben diese Arbeiten nicht die verdiente Beachtung gefunden.

Mittelst eines leicht transportabeln Apparates, den wir an anderer Stelle[1]) beschrieben haben, glauben wir nun die Elektricitätszerstreuung von einem geladenen Körper aus in einwandfreier Weise messen zu können. Die Ergebnisse, zu denen diese Beobachtungen geführt haben, sind im wesentlichen die folgenden.[2])

Ein in freier Luft oder im Zimmer isoliert aufgestellter elektrisierter Leiter verliert seine Ladung allmählich an die Luft, und zwar etwa in dem von Herrn Linss angegebenen Grade. Ist er der freien Atmosphäre ausgesetzt, so ist dieser Elektricitätsverlust von dem Zustande der Luft abhängig. Die Gegenwart von Nebel und anderen Trübungen, wie z. B. auch Höhenrauch, wirkt stets vermindernd auf die Zerstreuung, d. h. neblige Luft leitet schlechter als reine. Ist die Luft ausnahmsweise rein und durchsichtig, so ist die Zerstreuung am grössten, sie kann im Tieflande auf etwa das Zehnfache des bei Nebel gemessenen Wertes steigen. Ein Einfluss der Temperatur und der absoluten Feuchtigkeit innerhalb der in der Natur gegebenen Grenzen scheint nicht feststellbar zu sein. Obgleich der Versuchskörper, von dem aus die Elektricitätszerstreuung erfolgt, nur sehr unvollkommen gegen Wind geschützt wird, ist doch eine Abhängigkeit von der Windstärke mit völliger Sicherheit nicht nachzuweisen. Indessen bedürfen die letztgenannten Einflüsse noch einer genaueren Untersuchung.

Die Unterschiede im Grade der Zerstreuung, je nachdem man den Versuchskörper positiv oder negativ ladet, sind, wie auch Herr Linss fand, so lange man im Tieflande bleibt, im allgemeinen unerheblich und von wechselndem Sinne.

Da nun die Klarheit der Atmosphäre sich als von so wesentlicher Bedeutung erwiesen hatte, so war zu erwarten, dass in der reineren Luft der Gebirge die Zerstreuung eine deutliche Zunahme erfahren müsse. Messungen auf dem Brocken, sowie auf dem Säntis und in der Umgebung von Zermatt haben diese Vermutung durchaus bestätigt. Dabei zeigte sich aber noch eine merkwürdige Begleiterscheinung. Während auf der Sohle von Hochthälern, wie in Zermatt, die Beträge der Zerstreuung für positive und negative Ladungen unter sich gleich und mehr als doppelt so gross als die entsprechenden Zahlen für Wolfenbüttel gefunden wurden, ergiebt sich auf Bergspitzen der Verlust negativer Elektricität durchweg grösser als der für positive. Schon auf dem Brocken war dies Verhalten deutlich erkennbar, auf dem Säntis standen die Zahlenwerte etwa im Verhältnis von 4 : 1. Trat im Gebirge Nebel ein, so nahm auch sofort die Zerstreuung bis zu äusserst kleinen Werten ab.

Die so kurz geschilderten Thatsachen lassen sich nun auf Grund der Ionentheorie leicht übersehen.

Die normale atmosphärische Luft enthält hiernach positiv und negativ geladene Ionen in etwa gleicher Menge. Ein positiv geladener Leiter zieht die negativen, ein negativ geladener die positiven an und wird durch Berührung mit ihnen allmählich entladen. Ist die Luft rein, so finden die Ionen, abgesehen von Reibungswiderständen kein Hindernis in ihrer Bewegung, ist sie nebelhaltig, so sind sie zum Teil oder vollständig an die feinen Wassertröpfchen gebunden, als deren Kondensationskerne sie gewirkt haben, oder denen sie begegnet sind. Ihre Masse ist dadurch ungemein vergrössert, ihre Beweglichkeit so gut wie aufgehoben.

Im elektrischen Kraftfelde der Erde erfahren die freien Ionen eine teilweise Scheidung, um die Bergspitzen, in denen die Dichtigkeit der negativen Erdelektricität am grössten ist, sammeln sich vorzugsweise die positiven Ionen an. Hieraus erklärt sich, dass dort der Verlust negativer Ladungen am grössten ist.

Es kam nun darauf an, die in der Natur beobachteten Erscheinungen künstlich hervorzubringen.

In einem Glasballon, der etwas Wasser enthält, wird eine mit einem Elektrometer verbundene Elektrode und eine Erdleitung angebracht. Durch ein Stück eingeführten Uranpecherzes erteilt man der Luft des Ballons ein gewisses Leitungsvermögen. Man erkennt dies daran, dass eine dem Elektrometer mitgeteilte Ladung kontinuierlich von der Elektrode zur Erde abfliesst. Wird nun die Luft des Ballons durch Expansion zur Nebelbildung gebracht, so beobachtet man eine sofortige Hemmung der Entladung, die wieder in alter Weise fortschreitet, sobald man den Nebel durch Kompression zum Verschwinden bringt.

1) J. Elster und H. Geitel, Physikalische Zeitschrift 1, S. 11, 1899. Von J. Elster demonstriert auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in München.

2) Ausführliche Mitteilungen in Terrestrial Magnetism and Atm. Electricity, Vol. IV, No. 4, S. 213, 1899.

Die Sonderung der positiven und negativen Ionen von einander lässt sich leicht durch elektrische Kräfte erreichen. Man stellt das Elektroskop, das zum Messen der Zerstreuung dient, samt dem Leiter, von dem aus die Zerstreuung erfolgt, im Innern eines grossen isolierten Cylinders aus Drahtgeflecht auf, dem man eine konstante elektrische Ladung durch eine Trockensäule erteilt. Man beobachtet dann, dass die Zerstreuung innerhalb des Cylinders von der Ladung seiner Aussenfläche abhängt. Ist diese positiv, so ist innen der Verlust für positive, ist sie negativ, der für die negative Elektricität viel grösser als bei entgegengesetzten Vorzeichen. Man erkennt, dass der geladene Cylinder stets diejenigen Ionen aus der Luft heranzieht, die seiner Ladung entgegengesetzt sind. Diese diffundieren zum Teil in sein Inneres und entladen den dort aufgestellten Leiter, wenn seine Elektrisierung der des Cylinders gleichnamig ist.

Ladet man einen an Seidenschnüren aufgehängten Körper aus weitmaschigem Drahtnetz von etwa 1 cbm Inhalt fünf Minuten lang positiv, so erweist sich die Innenluft unmittelbar nachher als negativ geladen und umgekehrt. Auch hier sind die entgegengesetzt elektrisierten Ionen der Luft von dem Cylinder herangezogen und zum Teil in das Innere hineindiffundiert. Über diese Versuche und ihre Abänderung durch Erzeugung von Nebel und künstliche Ionisierung der Luft gedenken wir demnächst eingehender zu berichten.

Wir halten es demnach für feststehend, dass die atmosphärische Luft in gewissem Grade ionisiert ist. Der wechselnde Betrag des Elektricitätsverlustes lässt sich sowohl auf eine verschiedene Beweglichkeit, wie auf veränderte Anzahl der Ionen zurückführen. Der Einfluss der Lufttrübung ist offenbar von der ersten Art, die Zunahme der Elektricitätszerstreuung im Hochgebirge scheint uns, da sie weit über das Mass des im Tieflande beobachteten Maximums hinausgeht, auf einer wirklichen Vermehrung der Ionen mit wachsender Meereshöhe zu beruhen. Kann nun der Gehalt der Luft an elektrischen Ionen als erwiesen gelten, so liegt es nahe, diejenigen Eigenschaften, die man an künstlich ionisierter Luft beobachtet hat, auch bei der Atmosphäre vorauszusetzen.

Nun haben die oben erwähnten Versuche von Herren J. J. Thomson, Zeleny, Wilson u. a. gezeigt, dass unter Einwirkung gleicher elektrischer Kräfte die negativen Ionen eine grössere Geschwindigkeit annehmen als die positiven. Man kann dies auch dadurch ausdrücken, dass man den ersteren eine wesentlich geringere Masse zuschreibt. Streicht nun ionisierte Luft über einen unelektrischen isolierten Leiter hin, so werden ein positives und ein negatives Ion, die sich in gleicher Lage zu dem Leiter befinden, in dem durch ihre eigene Ladung inducierten Felde zwar gleiche Anziehungen gegen diesen erfahren, da aber die Masse des negativen kleiner als die des positiven ist, so wird es in gleicher Zeit eine grössere Strecke gegen den Leiter hin zurücklegen, also seine Ladung schon an ihn abgegeben haben können, während das langsamer wandernde positive durch den Luftstrom fortgeblasen wird. Hiernach wird ein von ionisierter Luft umgebener Leiter sich von selbst negativ laden, bis das durch diese Ladung erregte Feld den Unterschied der Beweglichkeit der Ionen ausgleicht. Solche spontanen Ladungen von Leitern in ionisierter Luft sind von Herrn Zeleny beobachtet und auf die Verschiedenheit der Ionengeschwindigkeit zurückgeführt.[1]) Streicht Luft durch das Innere eines Leiters, so kann die Ladung weit höhere Beträge erreichen, da für Punkte im Innern die kompensierende Wirkung der zunehmenden Eigenladung wegfällt. Ein isoliert aufgestellter Leiter, durch dessen Inneres ionisierte Luft fliesst, wird demnach von innen fortwährend negative Elektricität aufnehmen. Könnte man den Verlust nach aussen und durch die Stützen verhindern, so müsste seine Ladung zu sehr hohen Beträgen gesteigert werden können.

Man erkennt, dass auch der Erdkörper, allseitig von ionisierter Luft umgeben, sich negativ laden muss. Die Zufuhr der negativen Elektricität wird besonders dort stattfinden, wo das durch seine Eigenladung inducierte Feld nicht durch Beschleunigung der positiven Ionen ausgleichend wirken kann, d. h. an solchen Orten, die als innere Punkte der leitenden Erdoberfläche gelten können. Dies ist der Fall besonders in den mit Vegetation bedeckten Gegenden. Das elektrische Feld der Erde ist Null zwischen den Stämmen der Bäume und niedrigeren Pflanzen, hier kann also eine ungehinderte Aufnahme negativer Elektricität aus der Atmosphäre stattfinden. Der so aufgenommenen, auf der nach aussen gewandten Erdoberfläche im elektrostatischen Gleichgewichte verteilten negativen Ladung entspricht ein Deficit der Atmosphäre an negativen, also ein Überschuss an positiven Ionen. Diese werden im ganzen in stationärer Weise gegen die Erdoberfläche hinwandern und dort die negative Elektricität in dem Masse neutralisieren, wie sie sich unausgesetzt regeneriert. Wie oben bemerkt, muss die Erneuerung der Gesamtladung der Erde sich in etwa 100 Minuten vollziehen.

Wie man sieht, ergiebt sich auf Grund der Ionentheorie die konstante negative Eigenladung des Erdkörpers in ungezwungener Weise durch die unausgesetzte Einwanderung negativer Ionen an bestimmten (elektrisch geschützten) Orten,

1) J. Zeleny, Phil. Mag. 46, S. 137, 1898.

der ein Verlust durch Aufnahme positiver (an frei gelegenen Orten) gegenübersteht. Diejenige positive Elektricitätsmenge, durch welche die Ladung des Erdkörpers gerade neutralisiert werden würde, ist in der Atmosphäre an positive Ionen gebunden zu suchen und zwar, da diese in Wanderung gegen die Erdoberfläche hin begriffen sind, vorzugsweise in den unteren Schichten.

Man kann aber noch weiter gehen und die Veränderungen in Betracht ziehen, die diese Wanderung der Ionen gegen den Erdkörper hin erleidet, sobald Kondensation des Wasserdampfes eintritt. Wir nehmen zunächst an, dass dies in unmittelbarer Nähe des Erdbodens geschieht. Die von oben herab kommenden positiven Ionen bleiben dann in der Nebelschicht stecken, nähern sich, an den sinkenden Tröpfchen haftend, dem Boden und bilden eine dicht über ihm lagernde positiv elektrische Schicht. In dieser kann das Potentialgefälle je nach dem Grade der elektrischen Volumdichtigkeit eine beträchtliche Höhe erreichen, an der oberen Grenze der Nebelschicht muss es schnell in der Vertikalrichtung abnehmen.

Liegt eine Nebelschicht (Wolke) in grösserer Höhe über der Erdoberfläche, so können die positiven Ionen der darunter liegenden Luft ungehindert zur Erdoberfläche gelangen, während die aufwärts wandernden negativen in der unteren Grenzfläche der Wolke festgehalten werden. Hierdurch sinkt das Potentialgefälle am Erdboden. Die obere Fläche der Wolke wird ebenso den nach unten wandernden positiven Ionen der darüberliegenden Luftschicht ein Ziel setzen. Bei weitergehender Kondensation entfallen der unteren Wolkenschicht negativ, der oberen positiv geladene Niederschläge.

Hiernach ergiebt sich ohne weiteres die Thatsache, dass die Niederschläge positive und negative Ladungen mit sich führen.

Wir wollen nun in der weiteren Betrachtung einem Gedankengange folgen, der kürzlich von Herrn J. J. Thomson angegeben ist.[1] Bei Versuchen über die Kondensation des Wasserdampfes hat sich nämlich gezeigt, dass die Nebelbildung in negativ ionisierter Luft bei geringerer Expansion erfolgt, als in solcher, die mit positiven Ionen beladen ist, man kann daher erwarten, dass die Nebelbildung zuerst die negativen Ionen an Wassertröpfchen bindet. Eine sich bildende Wolke wäre demnach als ein Gemisch negativ geladener Tröpfchen mit Luft aufzufassen, die freie positive Ionen enthält. Im Augenblicke ihrer Bildung wird sie nach aussen elektrisch nicht wirken können, wohl aber, sobald durch die Fallbewegung die negativ geladenen Tröpfchen sich von der dazwischen gelagerten positiven Luft getrennt haben. Die elektrische Potentialdifferenz bildet sich demnach auf Kosten der lebendigen Kraft der fallenden Tropfen. Bei fortschreitender Expansion und Abkühlung der Luft werden auch die positiven Ionen zu Kondensationskernen und die ihnen anhaftenden positiven Ladungen werden mit den Niederschlägen zur Erde geführt. Ein Ausgleich der Spannung innerhalb der Wolke ist wegen der geringen Beweglichkeit der Ionen in ihr nur in disruptiver Weise möglich. Da die Zahl der Ionen in den höheren Luftschichten, wie aus unseren Beobachtungen in den Alpen hervorgehen würde, grösser als an der Erdoberfläche ist, so erscheint der Ursprung so grosser Elektricitätsmengen, wie sie ein Gewitter liefert, weniger befremdend.

Die Grundlage der im vorigen kurz dargestellten Auffassung der elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre, nämlich die Existenz entgegengesetzt geladener Ionen in der Luft, kann als experimentell erwiesen gelten, ebenso hat man auch die verschiedene Diffusionsgeschwindigkeit der Ionen in künstlich leitend gemachter Luft, sowie ihr abweichendes Verhalten gegenüber der Nebelbildung auf Grund von Versuchsergebnissen erschlossen. Es handelt sich demnach hier nur um eine Anwendung experimentell gewonnener Erfahrungen auf ein Gebiet der Meteorologie[1]).

Es ist bemerkenswert, mit welcher Einfachheit sich die Grundthatsache dieses Gebietes, nämlich die trotz unausgesetzten Verlustes konstante negative Ladung des Erdkörpers ergiebt. Dass auch die Existenz freier positiver Elektricität in den unteren Luftschichten, d. h. die Abnahme des Potentialgefälles mit der Höhe, weiterhin seine Zunahme im Bodennebel, ferner die wechselnde Eigenelektricität der Niederschläge aus der Theorie abzuleiten sind, ist schon erwähnt worden.

Es fragt sich nun, wie stellt sich diese Auffassung zu dem von Herrn F. Exner hervorgehobenen Zusammenhange zwischen dem Potentialgefälle und dem Wasserdampfgehalte der Luft und der von uns der Exnerschen Formel nachgebildeten Beziehung zur Intensität der Sonnenstrahlung?

Hierzu ist zunächst zu bemerken, dass sowohl der Exnerschen Theorie von der Konvektion der negativen Bodenelektricität durch den Wasserdampf, wie auch der von uns auf Grund zahlreicher Beobachtungsreihen empfohlenen photoelektrischen, durch die vom

1) J. J. Thomson, Phil. Mag. 46, S. 533, 1898.

1) Nach einer in Wied. Ann. 69, S. 531, 1899 erschienenen Abhandlung ist Herr Heydweiller auf einem von dem unserigen völlig verschiedenen Wege ebenfalls zu dem Nachweise einer Ionenleitung der Luft gelangt.

Freiballon aus durchgeführte Erforschung des elektrischen Feldes der Atmosphäre der Lebensnerv durchschnitten ist. Die hierdurch nachgewiesene Anwesenheit freier positiver Elektricität in der Luft ist unverträglich mit den Theorien, die sich auf ein irgendwie geartetes Einströmen der negativen Bodenelektricität in die Luft gründen. Danach würde den genannten Formeln — entsprechend einer schon früher von uns ausgesprochenen Bemerkung — höchstens noch ein empirischer Wert zuzuerkennen sein. Aber auch dieser wird stark beeinträchtigt, wenn man bedenkt, dass die Formeln nur auf die Mittelwerte aus einer sehr grossen Anzahl von Messungen des Potentialgefälles anwendbar sind, während die Einzelbeobachtungen ganz beträchtliche Differenzen aufweisen. So scheint es, dass jene Gleichungen nicht viel mehr sagen, als dass mit steigendem Wasserdampfgehalte der Luft und zunehmender Sonnenstrahlung das Potentialgefälle durchschnittlich abnimmt. Eine gleiche Beziehung kann mit Erfolg auch für die Temperatur aufgestellt werden.[1]) So käme man in dem Bestreben, das Potentialgefälle von anderen meteorologischen Elementen abhängig darzustellen, schliesslich nur zu der bekannten, durch die jährliche Periodicität wiedergegebenen Erfahrung zurück.

Nach der Ionentheorie muss das Potentialgefälle klein sein, wenn die positiven Ionen der Luft beweglich genug sind, um zur Berührung mit der Erdoberfläche zu gelangen; werden sie in der Nähe des Bodens festgehalten, so steigt es an. Die Beweglichkeit (und Anzahl) der Ionen bestimmt aber auch die Grösse der Elektricitätszerstreuung, d. h. es muss im allgemeinen mit zunehmender Zerstreuung das Potentialgefälle sinken. Nun hat schon Herr Linss gefunden, dass der jährliche Gang des Zerstreuungskoëfficienten in der That dem des Potentialgefälles entgegengesetzt verläuft, indem die Zerstreuung im Winter durchschnittlich kleiner als im Sommer ist.

Sehr deutlich zeigt sich der hierin liegende Zusammenhang an der früher von uns mitgeteilten Thatsache, dass mit zunehmender Lufttrübung (d. h. also abnehmender Leitfähigkeit der Luft) unter sonst gleichen Umständen das Potentialgefälle wächst.[2])

Auch die tägliche Periode wird im wesentlichen vielleicht auf eine Periode der Klarheit der Luft zurückkommen. Den an heiteren Tagen meist dunstigen Morgenstunden entsprechen die hohen Potentialwerte, die dann mit zunehmender Klarheit der Atmosphäre sich dem Minimum der Nachmittagsstunden nähern. Doch werden hier lokale Verhältnisse stark mitwirken müssen.

Eine eingehende Theorie der atmosphärischen Elektricität auf Grund der Ionisierung der Luft kann nur nach Beschaffung reicheren Beobachtungsmaterials über die Abhängigkeit dieser Eigenschaft von anderen meteorologischen Faktoren versucht werden, wobei festzustellen ist, wie weit die in der Natur vorhandenen Ionen der Atmosphäre mit den künstlich hervorgebrachten übereinstimmen. Es kam uns hier nur darauf an, zu zeigen, dass ein solcher Versuch Erfolg verspricht.

(Eingegangen 26. Januar 1900.)

1) W. Braun, Messungen des Potentialgefälles der Luftelektricität in Bamberg. XVII. Jahresbericht der naturforschenden Gesellschaft in Bamberg. Separatabdruck S. 29.

2) J. Elster und H. Geitel, Wien. Ber. 101, S. 824, 1892.

Der Einfluss einer Elektrisierung auf die Oberflächenspannung des Wassers und Quecksilbers.[1])

Von E. Merritt u. S. J. Barnett.

Seit man weiss, dass sich eine elektrische Ladung auf der Oberfläche eines Leiters befindet, liegt es nahe zu erwarten, dass die Elektrisierung einer Flüssigkeit eine Veränderung ihrer Oberflächenspannung hervorbringen muss. In der That giebt es viele wohlbekannte Erscheinungen, die eine solche Veränderung vermuten lassen. So dehnt sich eine Seifenblase, wenn sie elektrisiert wird, aus, ein Quecksilberkügelchen wird flacher, das Wellenmuster eines aus einer elliptischen Öffnung ausfliessenden Flüssigkeitsstrahles erscheint länger ausgezogen etc. Solche Erscheinungen rühren indessen unzweifelhaft zum grössten Teile von den elektrostatischen Kräften her, welche sich durch das Vorhandensein einer Ladung an der Flüssigkeitsoberfläche entwickeln. Es ist leicht einzusehen, dass bei einer konvexen Oberfläche die Wirkung elektrostatischer Kräfte sich ähnlich äussern wird, wie die, welche durch Veränderung der Oberflächenspannung hervorgebracht wird.

Zu bestimmen, ob zu dieser elektrostatischen Wirkung in der That eine Wirkung der Elektrisierung auf die Oberflächenspannung hinzukommt, müssen Untersuchungen nach solchen Methoden gemacht werden, welche die Berechnung einer rein elektrostatischen Wirkung möglich machen, sodass dieselbe von der Gesamtwirkung getrennt werden kann. Experimente, welche dieses Ziel verfolgen, sind von dem

1) Der Aufsatz wird demnächst ausführlich in Phys. Rev. erscheinen.

Einen von uns in einer früheren Mitteilung beschrieben worden.[1])

Die Resultate zeigten, dass die fragliche Wirkung, wofern sie überhaupt besteht, viel kleiner ist, wie man früher vermutete; aber da die Theorie der angewandten Methode zur Zeit der Veröffentlichung noch nicht völlig entwickelt war, so konnten damals keine bestimmteren Schlussfolgerungen gezogen werden. Es ist der Zweck der vorliegenden Mitteilung, die Diskussion dieser Experimente zu vervollständigen.

Für die Berechnung der Experimente im einzelnen müssen wir auf die erwähnte Abhandlung Bezug nehmen. Die Spannung der Flüssigkeitsoberfläche, ungeladen oder zu einer bekannten elektrischen Dichte geladen, war nach der Methode der Kapillarwellen untersucht worden, in einer Form, welche die Oberflächenspannung von unelektrisiertem Wasser mit einem Fehler von nicht über 0,05 Proz. ergab.

Wenn die Flüssigkeiten elektrisch geladen waren, positiv oder negativ, so wurde gefunden, dass die Geschwindigkeit der kapillaren Wellen geringer war, als wenn die Oberfläche unelektrisch war. Für Wasser würde dieser Unterschied bei einer Flächendichte von 1,75 elektrostatischen Einheiten einer Verringerung der Oberflächenspannung um ungefähr 4 Proz. entsprechen. Für Quecksilber war der sichtbare Unterschied bei einer Flächendichte von 2,33 geringer wie 1 Proz.

Man muss indessen beachten, dass die erwähnten Resultate nicht unbedingt das Vorhandensein einer wirklichen Änderung der Oberflächenspannung beweisen; denn die elektrostatischen Kräfte, welche auf einer geladenen Oberfläche wirken, würden eine Geschwindigkeitsabnahme der kapillaren Wellen verursachen, selbst wenn die Oberflächenspannung unverändert bliebe. Um zu entscheiden, ob eine wirkliche Änderung der Oberflächenspannung durch Elektrisierung statt hat, müssen wir die elektrostatischen Kräfte in Rechnung setzen, wenn wir die Beziehung zwischen der Oberflächenspannung und der Geschwindigkeit ermitteln.

Die Geschwindigkeit kapillarer Wellen zu bestimmen, haben wir die allgemeine Gleichung

$$(1) \qquad \frac{\delta p}{\varrho} = -gh - \frac{d\varphi}{dt}\,^{2)},$$

wo ϱ die Dichtigkeit der Flüssigkeit, h die Verrückung des betrachteten Punktes aus seiner Gleichgewichtslage, δp die entsprechende Zunahme des Druckes auf der Oberfläche, φ das Geschwindigkeitspotential und g die Beschleunigung der Schwerkraft ist.

Wenn δp nur von der Kapillarität herrührt, so ist

$$\delta p = -T\frac{\partial^2 h}{\partial x^2},$$

wo T die Oberflächenspannung ist; die Gleichung (1) wird damit

$$(2) \qquad \frac{T}{\varrho}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = gh + \frac{d\varphi}{dt}.$$

Für den Fall flacher Sinuswellen in einer Flüssigkeit von genügender Tiefe, ergiebt für die Oberflächenspannung

$$T = \frac{\lambda^2 \varrho}{2\pi}\left(\lambda n^2 - \frac{g}{2\pi}\right),$$

wo n die Schwingungszahl der Wellen ist. Wenn jedoch die Oberfläche der Flüssigkeit geladen ist, so kommt ein Druck von

$$-\frac{2\pi\sigma^2}{K}$$

zu dem von der Kapillarität herrührenden hinzu, wo σ die elektrische Oberflächendichte und K die Dielektricitätskonstante des Mediums ist, welches sich über den Wellen befindet. Anstatt der Gleichung (2) haben wir in diesem Fall daher

$$(3) \qquad \frac{T}{\varrho}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{2\pi}{K\varrho}(\sigma^2 - \sigma_0^2) = gh + \frac{d\varphi}{dt},$$

wo σ_0 die Oberflächendichte der ruhenden Oberfläche ist. Wegen der Methode, σ als eine Funktion von h zu bestimmen, muss auf die ausführliche Abhandlung verwiesen werden. Um eine intensive Ladung zu erhalten, wurde die Flüssigkeitsoberfläche zu dem einen Belage eines Luftkondensators gemacht; der andere Belag ward von einer im Abstand von 4 cm darüber festgehaltenen Metallplatte gebildet.

Unter diesen Bedingungen wurde gefunden, dass für Wellen von kleiner Amplitude

$$\sigma^2 - \sigma_0^2 = \frac{4\pi\sigma_0^2 h}{\lambda}$$

und die Gleichung (3) wird daher

$$(4) \qquad \frac{T}{\varrho}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \left(g - \frac{8\pi^2\sigma_0^2}{K\lambda\varrho}\right)h + \frac{d\varphi}{dt}.$$

Vergleicht man diese mit Gleichung (2), so ersieht man, dass die Wirkung der Oberflächenelektrisierung die Geschwindigkeit der Wellen in demselben Sinne und in demselben Masse beeinflusst wie eine Verminderung der Schwerkraftbeschleunigung um $\frac{8\pi^2\sigma_0^2}{K\lambda\varrho}$.

Der vervollständigte Ausdruck für die Oberflächenspannung ist daher

1) Barnett, Phys. Rev. 9, S. 257, 1898.

2) Rayleigh, Treatise on Sound, vol 2, § 353 (II. Auflage).

$$(5)\qquad T=\frac{\lambda^2\varrho}{2\pi}\left(\lambda n^2-\frac{g}{2\pi}\right)+\frac{2\pi\sigma_0^2}{K}.$$

Die sichtbare Oberflächenspannung, d. h. der Wert von T der aus (3) erhalten wird, ist somit immer um den Betrag von $\frac{2\lambda\sigma_0^2}{K}$ geringer wie die wirkliche Oberflächenspannung. Mit Hilfe der experimentellen von Herrn Barnett erhaltenen Daten ist es nun möglich, die wahre Oberflächenspannung des Wassers und des Quecksilbers für verschiedene Werte der elektrischen Oberflächendichtigkeit zu berechnen.

Die Resultate sind in Tafel I u. II wiedergegeben, ausgedrückt in Bruchteilen der Oberflächenspannung der ungeladenen Flüssigkeiten.

Tafel I Wasser.

V Volt	σ_0 elektrostatische Einheit	T sichtbar	T verbessert
0	0,00	100,00%	100,00%
9000	0,58	99,61	100,06
12000	0,77	99,29	100,08
15000	0,97	98,98	100,23
18000	0,17	99,37	100,19
21000	1,36	97,69	100,15
24000	1,56	96,94	100,16
27000	1,74	96,13	100,13

Tafel II Quecksilber.

V Volt	σ_0 elektrostatische Einheit	T sichtbar	T verbessert
0	0,00	100,00%	100,00%
9000	0,70	99,92	100,01
12000	0,93	99,88	100,04
15000	1,17	99,83	100,08
18000	1,39	99,75	100,10
21000	1,63	99,61	100,10
24000	1,87	99,44	100,08
27000	2,09	99,25	100,05
30000	2,33	99,08	100,07

Die letzte Reihe der Tafel I giebt für die verbesserte Oberflächenspannung einer elektrisierten Wasseroberfläche Werte, welche um 0,06% bis 0,23% höher sind, als die der ungeladenen Oberfläche, also durchschnittlich ungefähr $^1/_7$% höher; während die entsprechende Reihe von Tafel II für die Spannung einer elektrisierten Quecksilberoberfläche um 0,01% bis 0,10% höhere Werte giebt, wie für eine nicht elektrisierte gelten, im Mittel also ungefähr $^1/_{15}$% höhere. Die Thatsache, dass die sehr kleine Änderung in keinem der beiden Fälle ein Gesetz befolgt, indem sie oft geringer bei hohen als bei niedrigen elektrischen Oberflächendichten ist, dürfte anzeigen, dass sie keine thatsächliche Bedeutung hat und ganz und gar experimentellen Fehlern zuzuschreiben ist.

Die vervollständigte Untersuchung schliesst demnach zwar nicht die Möglichkeit aus, mit verbesserten Methoden und noch stärkeren Ladungen eine Wirkung der Elektrisierung auf die Oberflächenspannung zu finden, giebt aber andrerseits auch keinen Anhaltspunkt, dass eine solche Wirkung wirklich vorhanden ist.

(Eingegangen 9. Febr. 1900.)

(Aus dem Englischen übersetzt von H. Th. Simon.)

Über den Einfluss der Temperatur auf das Potentialgefälle in verdünnten Gasen.

Von G. C. Schmidt.

Einleitung. Die Verteilung des Energieverbrauches in verdünnten, von elektrischen Strömen durchflossenen Gasen bei gewöhnlicher Temperatur ist vielfach untersucht worden, sei es durch Messung der an verschiedenen Stellen abgegebenen Wärmemengen, sei es durch Ermittelung des Potentialgefälles. Dadurch dürften im wesentlichen die in den einzelnen Fällen massgebenden Grössen bestimmt sein. Dagegen fehlt es noch fast vollständig an Messungen in Gasen bei höheren und tieferen Temperaturen. Die einzigen, mir bekannten hierhin gehörigen Messungen rühren von M. Pandolfi[1]) her. Derselbe bestimmte aber nur die Abhängigkeit des gesamten Entladungspotentials zwischen den Elektroden bei den Temperaturen zwischen 20° und 110°. Ein tieferer Einblick in die Erscheinungen lässt sich aber allein durch Beobachtungen in den einzelnen Teilen der Entladung gewinnen.

Um diese Lücke auszufüllen, habe ich eine grosse Reihe von Messungen ausgeführt und zwar

1. über den Potentialgradienten im positiven Licht,
2. über das Kathodengefälle,
3. über den Potentialgradienten bei der dunklen Entladung und
4. über die Gesamtpotentialdifferenz bei verschiedenen Temperaturen.

Versuchsanordnung: Die Methode der Messung war die von Warren de la Rue und Müller,[2]) Hittorf,[3]) Warburg[4]) u. a. benutzte; in die von einem konstanten Strom durchflossene Gasstrecke waren mehrere Platin-

1) M. Pandolfi, Nuovo Cim. 5, S. 85—110, 1897. Beibl. 21, S. 778—779, 1897.
2) Warren de la Rue und Müller, Phil. Trans. 169, S. 165, 1873.
3) W. Hittorf, Wied. Ann. 20, S. 712, 1883.
4) E. Warburg, Wied. Ann. 40, S. 1, 1890; siehe auch A. Herz, Wied. Ann. 54, S. 244, 1865.

drähte als Sonden eingesenkt. Die Potentialdifferenz zwischen den Sonden wurde mittels eines modifizierten Warburg'schen Elektrometers[1]) gemessen. Als Stromquelle diente eine Batterie von 1000 Akkumulatoren. In den Stromkreis waren Hittorf'sche Jodcadmiumwiderstände und ein Telephon zur Beurteilung der Kontinuierlichkeit des Stroms, sowie ein Spiegelgalvanometer eingeschaltet. Zum Erwärmen der Entladungsröhre diente ein gut mit Asbest ausgefütterter eiserner Kasten. Aus demselben ragten nur die beiden Enden mit den Elektroden und die Quecksilbernäpfchen, in welche die oberen Enden der Sonden tauchten, heraus. Ein Glimmerfenster erlaubte die Erscheinungen in der Entladungsröhre zu verfolgen. Die Temperaturen wurden an einem im Kasten befindlichen Thermometer abgelesen; Messungen wurden erst angestellt, wenn die Temperatur einige Zeit bis auf 1—2° konstant blieb.

Die Untersuchung blieb auf Stickstoff beschränkt. Zur Darstellung desselben wurde eine Lösung von Ammoniumnitrit durch Erhitzen zersetzt und das sich entwickelnde Gas in einem Glasgasometer aufgefangen. Um Spuren von Kohlensäure, Sauerstoff und den Wasserdampf zu entfernen, wurde es durch Kalilauge, Pyrogallussäure und schliesslich über Chlorcalcium und Phosphorpentoxyd geleitet.

Die Versuche wurden teils bei konstantem Druck, teils bei konstanter Dichte des Gases angestellt. Zu dem letzteren Zweck war möglichst nahe an der Entladungsröhre ein Kapillarhahn angebracht; war derselbe geschlossen, so blieb die Gasdichte konstant, wurde er geöffnet und dadurch die Verbindung zwischen der Entladungsröhre und den grossen Gefässen der Pumpe hergestellt, so blieb der Druck während des Erhitzens nahezu unverändert.

Änderung der Spektralerscheinungen bei sehr grossen Stromstärken, wobei auch die Temperatur des Gases stark steigt. Es wurde bei gewöhnlicher Temperatur ein konstanter Strom durch die Entladungsröhre bei einem solchen Druck geschickt, dass eine ungeschichtete Entladung auftrat. Die Kathode war mit bläulichem Licht bedeckt, das positive Licht sah rot aus und zeigte die bekannten Stickstoffbanden. Wurde die Stromstärke stark gesteigert, so nahm das rote positive Licht eine prachtvoll orange Farbe an. Der Charakter des Spektrums änderte sich nicht wesentlich; im letzteren Fall war nur das gelbe Band bedeutend intensiver, doch blieb selbst bei den grössten angewandten Stromstärken die Kannellierung erhalten. Messungen über den Potentialgradienten im orangefarbenen Licht waren leider nicht möglich, da die Kathode ausserordentlich rasch zerstäubte und die Entladungsröhre sehr heiss wurde.

1) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. 66, S. 316, 1898.

Änderung der Erscheinungen im positiven Licht beim Erhitzen. Wir beschreiben jetzt die Veränderungen, welche eine Erhitzung bis zu 300° C. in den Entladungsröhren hervorruft, und zwar bei konstanter Dichte, also veränderlichem Druck.

Bei gewöhnlicher Temperatur füllt das rote Licht beinahe die ganze Röhre aus; der dunkle Trennungsraum trennt dasselbe von dem violetten Kathodenlicht, welches bei einem bestimmten Druck die Kathode nur halb bedeckt. Beim Erhitzen bis 130° zog sich das positive Licht zurück, der dunkle Raum wurde grösser und das rote positive Licht zerfiel in einzelne Schichten, die sich an die Sonden anlegten. Dieselben waren schlecht ausgebildet und waren von einander durch dunkle Räume getrennt. Bei Steigerung der Stromstärke wurden die Schichten intensiver und grösser. Wurde noch weiter erhitzt, so wurde die ganze Röhre dunkel, nur an der Anode und Kathode befanden sich noch kleine Lichtfünkchen. Die Erscheinung hatte das Aussehen, wie wenn bei sehr hohen Drucken die Entladung eben durch die Röhre zu gehen beginnt. Bei engen Röhren treten die Veränderungen erst bei höheren Temperaturen auf als bei weiten, und sind die Schichten viel besser ausgebildet. Offenbar spielt hierbei die Stromdichte eine Rolle. Vielfach bildeten sich auch Schichten zwischen den Sonden aus.

Ganz ähnliche Erscheinungen treten bei konstantem Druck auf.

Aus den Beobachtungen ergiebt sich somit: Sowohl bei konstantem Druck, als auch bei konstanter Gasdichte zerfällt bei gesteigerter Temperatur das ungeschichtete positive Licht in Schichten, die durch Steigerung der Stromstärke grösser, verwaschener und heller werden. Bei noch höheren Temperaturen zieht sich das positive Licht nach der Anode hin zurück, so dass schliesslich die Entladung eine dunkle wird.

Dass diese letztere Erscheinung nicht davon herrührt, dass bei diesen hohen Temperaturen die Gase nicht mehr zu leuchten vermögen, geht deutlich daraus hervor, dass, sobald man eine Funkenstrecke vor die Entladungsröhre schaltet, die ganze Röhre schön leuchtet.

Änderungen der Erscheinungen an der Kathode beim Erhitzen. Sehr auffällige Veränderungen zeigt das Glimmlicht, wenn man bei konstantem Druck erwärmt.

Bekanntlich wächst bei konstanter Temperatur mit wachsender Stromstärke die Länge des

Glimmlichts, während seine Dicke so lange ungeändert bleibt, als der Draht noch nicht ganz mit Glimmlicht bedeckt ist, und so lange bleibt auch, wie Herr W. Hittorf zuerst und später Herr Warburg gezeigt haben, das Kathodengefälle ungeändert. Hat das Glimmlicht sich über die ganze Kathode verbreitet, so wächst bei weiter gesteigerter Stromesintensität die Dicke des Glimmlichts und gleichzeitig das Kathodengefälle. Mit zunehmendem Druck wird das Glimmlicht kleiner und bedeckt schliesslich die Kathode nur an der Spitze.

Erhöhung der Temperatur bewirkt nun genau dasselbe wie Erhöhung der Stromstärke. Bei konstanter Gasdichte, also wenn der Druck zunimmt infolge der Erwärmung, kann unter besonders günstigen Umständen die Zunahme des Drucks den Temperatureinfluss kompensieren, sodass grössere Veränderungen nicht wahrzunehmen sind. Bei konstantem Druck wächst das Glimmlicht stets bei Erhöhung der Temperatur, selbst, wenn die Stromstärke ungeändert bleibt, und bedeckt schliesslich die ganze Kathode, zugleich flutet es weiter vom Draht ab.

Änderungen des Potentialgradienten im positiven Licht mit der Stromstärke bei höheren Temperaturen. Von Herrn Mebius[1]) und A. Herz[2]) ist nachgewiesen, dass der Gradient im positiven ungeschichteten Licht mit wachsender Stromstärke abnimmt, und zwar geradlinig, sodass man setzen kann

$$v = v_0 - b\,(i - i_0),$$

wo v_0 den Gradienten für $i = i_0$ und b eine von i unabhängige Grösse bedeutet, nämlich die Abnahme des Gradienten für die Zunahme 1 der Stromstärke, das ist für 1 Milliampère Stromzunahme.

Aus den bei verschiedenen Temperaturen angestellten Messungen ergab sich, dass der Gradient im positiven ungeschichteten Licht bei konstanter Gasdichte unabhängig von der Temperatur ist. Dies gilt aber nur so lange, als das Licht ungeschichtet ist. Sobald Schichten auftreten, was bei höheren Temperaturen stets eintrifft, gilt die geradlinige Beziehung zwischen Stromstärke und Potentialgradient nicht mehr.

Einfluss der Temperatur auf das Kathodenpotential. Von W. Hittorf[3]) ist nachgewiesen, dass das negative Glimmlicht bei der Zunahme der Stromstärke sich stetig über eine gewisse Fläche der Kathode ausbreitet. So lange ihm dies möglich ist, bleibt seine Dicke wie seine Spannungsdifferenz so gut wie unverändert. Sobald jedoch die ganze Kathode damit bedeckt ist, flutet es mit wachsender Stromstärke geradlinig weiter, und gleichzeitig steigt seine Spannungsdifferenz.

Um das Verhalten des Glimmlichts, falls die Kathode nicht ganz bedeckt ist, bei höheren Temperaturen zu untersuchen, wurde in eine 30 cm lange und 5 cm dicke Röhre eine Aluminiumkathode von 15 cm Länge und 2 mm Durchmesser eingekittet. Die Röhre wurde in dem eisernen Kasten erwärmt und die Beziehung zwischen Stromstärke und Kathodenpotential bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Es ergab sich:

Das Kathodenpotential ist unabhängig von der Temperatur, so lange die Kathode noch nicht vollständig mit Glimmlicht bedeckt ist. Steigert man die Stromstärke, nachdem die Kathode schon ganz bedeckt ist, so nimmt das Kathodenpotential zu, und zwar geradlinig mit der Stromstärke zu. Eine Formel von der Gestalt: $v = v_0 + bi$, wo b eine Konstante bedeutet, stellt alle Beobachtungen dar. Die Geraden für die verschiedenen Temperaturen laufen ziemlich parallel miteinander, die kleinen Abweichungen hiervon rühren wohl nur davon her, dass bei höheren Temperaturen noch Wasserdampf sich von den Wänden freimacht, und dadurch der Stickstoff verunreinigt wird.

Einfluss der Stromstärke auf den Gradienten bei der dunklen Entladung. Wie oben beschrieben, ist die Entladung bei höheren Temperaturen eine dunkle. Der Gradient ist dann sehr klein. Aus einer grossen Anzahl von Messungen ergab sich:

1. Mit wachsender Stromstärke nimmt der Gradient zu.

2. Das Anwachsen des Gradienten mit der Stromstärke ist ein ziemlich starkes. Wächst z. B. die Stromstärke um das Zehnfache, so nimmt der Gradient ungefähr um das Doppelte zu.

Die dunkle Entladung zeigt also ein ganz anderes Verhalten als die leuchtende Lichtsäule. Während für letztere der Satz gilt, dass der Gradient mit wachsender Stromstärke abnimmt, findet bei der dunklen Entladung ein Annähern an das Ohmsche Gesetz statt.

Eine besondere Untersuchung muss zeigen, ob nicht bei noch höheren Temperaturen das Ohmsche Gesetz für Gasentladungen giltig ist. Es würde, falls dies der Fall ist, die Elektricitätsleitung in Gasen bei gewöhnlicher Temperatur aus der Superposition zweier Vorgänge bestehen, von denen der eine dem Ohmschen Gesetz gehorcht, der andere aber einem anderen Gesetz folgen müsste. Dies aufzuklären, soll die Aufgabe einer demnächst erscheinenden Arbeit sein.

1) Mebius, Wied. Ann. 54, S. 540, 1895.
2) A. Herz, Wied. Ann. 54, S. 249, 1895.
3) W. Hittorf, Wied. Ann. 20, S. 743, 1883.

Verteilung des Energieverbrauchs bei der dunklen Entladung. Es wurde eine Reihe von Messungen über die Potentialgradienten bei der dunklen Entladung an verschiedenen Stellen der Röhre angestellt. Die benutzten Röhren hatten zu dem Zweck 5 Sonden. Aus den Messungen ergab sich:

1. Bei konstanter Gasdichte nimmt der Gradient mit der Temperatur zu.

2. Bei konstantem Druck nimmt der Gradient mit der Temperatur ab.

3. Der Gradient nimmt von der Anode nach der Kathode zu ab.[1])

4. Der Gradient ist ungefähr proportional der Entfernung von der Kathode. Dividiert man z. B. den Gradienten durch die Entfernung der Mitte zwischen den beiden Sonden von der Kathode, so erhält man bei der ersten Beobachtungsreihe Zahlen, die zwischen 1,1 bis 1,4, und bei der dritten Beobachtungsreihe Zahlen, die zwischen 1,3 bis 1,7 schwanken. Ob diese Regel strenge gilt, müssen noch weitere Versuche, bei denen die Entfernung zwischen den Sonden kleiner ist als wie bei den bisher angewandten Röhren, zeigen.

Einfluss der Temperatur auf die Gesamtpotentialdifferenz. Aus den im vorhergehenden mitgeteilten Erscheinungen und den dabei gemessenen Gradienten lässt sich ein Schluss auf die Änderung der Gesamtpotentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden mit der Temperatur ziehen. Da der Gradient im positiven ungeschichteten Licht und der an der Kathode, so lange dieselbe nicht vollständig bedeckt ist, unabhängig von der Temperatur ist, und nur das positive Licht beim Erwärmen sich zurückzieht, so nimmt die Gesamtpotentialdifferenz anfangs langsam ab, um, sobald das positive Licht ganz verschwunden ist, auf sehr kleine Werte zu sinken. Für den weiteren Verlauf der Erscheinungen sind zwei Fälle zu beachten. Bleibt die Dichte konstant, wobei der Gradient bei der dunklen Entladung mit der Temperatur zunimmt, so steigt die Gesamtpotentialdifferenz. Ist der Druck konstant, wobei der Gradient mit der Temperatur abnimmt, so nimmt die Gesamtpotentialdifferenz ab, bis die Kathode ganz bedeckt ist und dadurch ein plötzlicher Sprung in dem Kathodengefälle auftritt. In beiden Fällen haben wir also einen Umkehrpunkt.

1) Dies Ergebnis hat W. P. Graham (Wied. Ann. 64, S. 76, 1898) für den dunklen Raum bereits gefunden.

Die Messungen bestätigten dies. Zugleich ergab sich aus denselben:

Mit steigender Temperatur nimmt die Gesamtpotentialdifferenz anfangs langsam, dann rasch ab, erreicht ein Minimum, um dann wieder zu steigen.

Das Minimum des Potentials liegt bei ein und derselben Röhre bei einer um so niedrigeren Temperatur, je geringer das Anfangspotential, oder, was dasselbe ist, je geringer der Anfangsdruck ist.

Schluss: Die vorliegende Untersuchung, welche unternommen wurde, um einen allgemeinen Überblick über die Änderung der Erscheinungen mit der Temperatur und die dabei in Betracht zu ziehenden Grössen zu gewinnen, kann natürlich nicht als eine endgiltige Lösung aller sich neu aufdrängenden Fragen angesehen werden. Sie weist aber mit Bestimmtheit darauf hin, dass bei höheren Temperaturen eine Reihe von bei gewöhnlicher Temperatur auftretenden Komplikationen wegfallen, sodass es nicht ausgeschlossen erscheint, dass man auf diesem Wege zu einfachen Gesetzen gelangen kann.

Die dunkle Entladung, die bei höheren Temperaturen auftritt, scheint die normale zu sein, wie ja auch schon Faraday die Entladung überhaupt als eine „dunkle" bezeichnete. Jedenfalls ergiebt sich aus der vorliegenden Untersuchung, dass das rote positive Licht mit der Stromüberführung nichts zu thun hat. Wahrscheinlich lagern sich bei gewöhnlicher Temperatur über den Strom noch Wellen, die beim Erhitzen verschwinden. Nur die letzteren rufen das Luminescenzlicht hervor.

Erlangen, 18. Febr. 1900. Physikal. Institut.

(Eingegangen 20. Febr. 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

L. Boltzmann, Gedenkrede auf Joseph Loschmidt, gehalten am 29. Oktober 1895 in der Chemisch-Physikalischen Gesellschaft in Wien.[1])

Meine Herren!

Sie haben mir in diesen Räumen schon öfters das Wort erteilt, um Ihnen den einen oder anderen Baustein vorzuführen, wie wir sie

1) Wir haben von Herrn Boltzmann die Erlaubnis zum Abdruck dieser schon 1895 gehaltenen Rede erbeten, weil sie uns mit der in No. 14, 15 abgedruckten Festrede ein untrennbares Ganzes zu bilden scheint. Herr Boltzmann ist unserer Bitte mit dankenswerter Bereitwilligkeit entgegengekommen. Die Herausgeber.

ohne Unterlass dem Baue der Wissenschaft angliedern, unbekümmert darum, ob sie im Laufe der Jahrhunderte noch bemerkbar sein oder im Massiv des Baues einzeln dem Auge entschwinden werden. Wenn nur jeder seinen Platz ausfüllt, so thut er seine Schuldigkeit. Aber heute haben Sie mich nicht um dessentwillen berufen, sondern um einem meiner teuersten Freunde das letzte Wort ins Grab nachzurufen, unserem am 8. Juli dieses Jahres verstorbenen Professor Loschmidt.

Wenig beredt ist zumeist der Schmerz. Aber wohl mir! Die Arbeiten Loschmidts sind nicht bloss einzelne Bausteine wie die oben beschriebenen, sondern sie bilden eine mächtige Ecksäule, weithin sichtbar, so lange es eine Naturwissenschaft geben wird.

Eine Arbeit Loschmidts, die Berechnung der Grösse der Luftmoleküle, wurde aus Anlass seines Todes in letzter Zeit in den Zeitungen wieder viel besprochen. In einem Kreise von Physikern und Chemikern ist es wohl nicht nötig, auf die Principien dieser Berechnung und ihre Bedeutung für die Wissenschaft hinzuweisen, ebensowenig auf einige später von anderen ausgeführte ähnliche Berechnungen, welche aber erst durch Lord Kelvins berühmte Abhandlung „On the size of molecules" zu allgemeiner Anerkennung gelangten. Später wurden noch die verschiedensten Berechnungen dieser Grösse nach den mannigfaltigsten Methoden ausgeführt, so dass ich selbst die Titel aller betreffenden Abhandlungen hier nicht aufzählen könnte. Nur eines ist ihnen allen gemein, dass sie durchwegs auf die zuerst von Loschmidt gefundene Zahl führen, wodurch dieselbe eine fast an Gewissheit grenzende Evidenz erhielt.

Die Berechnung dieser Zahl ist meines Erachtens die grösste aber keineswegs die einzige wissenschaftliche Leistung Loschmidts. Selbst in mehr populären Darstellungen, so in der von Lord Salisbury zu Oxford gelesenen und nun auch in französischer Übersetzung erschienenen „Presidents adress" oder in Ostwalds Vortrag „Über Energetik" zu Lübeck, ist in neuester Zeit viel von demjenigen Zustande des Lichtäthers die Rede, welchen Lord Kelvin den quasi labilen nannte. Damit verhält es sich so: Das Licht kommt jedenfalls durch Schwingungen und zwar nicht wie der Schall durch longitudinale sondern durch transversale zustande. Der Lichtäther kann daher nicht wie unsere Gase oder tropfbaren Flüssigkeiten nur longitudinaler Schwingungen fähig sein. Man legte ihm deshalb naturgemäss anfangs die Eigenschaften fester Körper bei, bis Lord Kelvin nachwies, dass man, um alle Eigenschaften des Lichtes zu erklären, den Elasticitätsmodul dieses festen Körpers negativ annehmen muss. Ein solcher Körper hätte dann, obwohl seine Teilchen nicht leicht gegeneinander verschiebbar sind, bezüglich der Ausdehnsamkeit eine gewisse Verwandtschaft mit den Gasen. Ein begrenztes Stück desselben könnte nicht existieren, da es sofort unseren Händen entschwinden und sich ins Unendliche ausdehnen müsste. Trotzdem wäre nicht ausgeschlossen, dass der Lichtäther diese Beschaffenheit hätte, denn dieser kann uns ja nicht durch weitere Ausdehnung entschwinden, da er ohnehin schon durch den ganzen unendlichen Raum ausgedehnt ist.

Dies alles hat Lord Kelvin unlängst durch wundervolle Rechnungen nachgewiesen; aber er war nicht der erste, der es that; etwa 30 Jahre früher schon hatte Loschmidt Ideen, die im wesentlichen auf dasselbe hinauslaufen, in seiner Abhandlung „Über die Konstanten des Lichtäthers" entwickelt. Diese ist nicht in einer Zeitschrift erschienen, sondern als selbständige Broschüre gedruckt und, wie ich glaube, im Buchhandel gar nicht mehr vorrätig.

Lamé, der sich ja selbst so viel mit Optik beschäftigte, schenkte ihr Beachtung. Es existieren einige Briefe, die er darüber an Loschmidt schrieb. Ausserdem wird sie meines Wissens nur in einem Referate der „Fortschritte der Physik" erwähnt, aber dort ohne Verständnis und in einer so wegwerfenden Weise kritisiert, dass sich damals Loschmidt darüber ärgerte, dass es aber heutzutage höchstens dem betreffenden Referenten zur Unehre gereichen kann.

Eine andere wiederum höchst originelle Leistung Loschmidts ist in seinen Arbeiten über den II. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie niedergelegt. Ganz der idealen Natur dieses Gelehrten entspricht der Feuereifer, mit dem er bemüht war, das Universum von dem sogenannten Wärmetode durch die Dissipation der Energie zu erretten, womit es durch die Untersuchungen von Clausius und Lord Kelvin bedroht wurde. Diese Rettung, wenn sie überhaupt notwendig sein sollte, ist ihm nicht gelungen, aber er gelangte bei ihrem Versuche doch zu höchst interessanten Resultaten, indem er hierbei zur Anwendung des II. Hauptsatzes auf die Theorie der Lösungen und chemischen Verbindungen geführt wurde. Er war in dieser Beziehung ein Vorläufer von Horstmann und Gibbs, deren gewaltige Leistungen sicher beschleunigt worden wären, wenn ihnen Loschmidts Arbeiten bekannt gewesen wären. Um die Resultate seiner diesbezüglichen Untersuchungen durch das Experiment zu prüfen, stellte er im Keller des physikalischen Institutes in der Erdbergstrasse drei riesige, mit Salzlösungen gefüllte Glasröhren auf. Es sollte bestimmt werden, ob sich im Verlaufe der Zeit zwischen den obersten und untersten Schichten

der Lösungen ein Konzentrationsunterschied herausbilden werde. Mit der Berechnung der Länge der hierzu erforderlichen Zeit kam er erst nach Aufstellung der Röhren zu Ende und fand dafür rund 3000 Jahre. Zucken Sie hierüber nicht die Achseln; vor einigen Monaten hat Des Coudres behufs eigener in gewisser Hinsicht analoger Versuche Rechnungen von ganz gleicher Art publiciert, und die Professoren Voigt und Nernst waren nicht wenig erstaunt, als ich ihnen erzählte, dass Loschmidt vor so langer Zeit mit den damaligen Mitteln schon das gleiche Resultat zu erhalten imstande war.

Da der II. Hauptsatz von dieser Seite unangreifbar schien, versuchte es Loschmidt mit anderen Mitteln. Viel beschäftigte ihn die Idee des Umkehrens alles Geschehens, die von Professor Mach durch die Geschichte des Krebses im Mohriner See so drastisch illustriert wurde, der zwar noch nicht den Weltlauf aber bis heute schon wiederholt die Köpfe zahlreicher theoretischer Physiker in Verwirrung brachte.

Ein anderes Mal fingierte er winzige intelligente Wesen, welche imstande wären, die einzelnen Gasmoleküle zu sehen, mit irgendeiner Vorrichtung die langsamen von den schnellen zu trennen, und so, wenn alles Geschehen in der Welt aufgehört hätte, neue Temperaturdifferenzen zu schaffen. Bekanntlich wurde dieselbe von Loschmidt nur in ein paar Zeilen einer Abhandlung angedeutete Idee viel später in Maxwells Wärmetheorie vorgebracht und dann vielfach besprochen. Ich wollte sie aber schon damals nicht gelten lassen und wandte dagegen ein, dass wenn alle Temperaturungleichheiten aufgehört hätten, auch keine intelligenten Wesen sich mehr bilden könnten. In einem Keller von durchaus gleichförmiger Temperatur, sagte ich, kann keine Intelligenz bestehen. Als wäre es heute, so sehe ich Stefan vor mir, der unserem lebhaften Streite schweigend zugehört hatte und nun lakonisch bemerkte: „Nun weiss ich, warum Ihre Versuche mit den grossen Glasröhren im Keller so kläglich gescheitert sind."

Verzeihen Sie, wenn ich heute, da wir Loschmidt beweinen, Ihnen das eine oder andere der Scherzworte aus jener Zeit erzähle. Diese scheinen mir mit Loschmidts kindlichem Gemüte, das trotz eines gewissen Hanges zum Schwärmerischen doch voll echten Humors war, nicht minder innig verbunden, als seine Entdeckungen mit seinem Geiste. Wie zahllose am Himmel verstreute Wölkchen noch den Glanz der gesunkenen Sonne widerspiegeln, bis auch sie verblassen, so stehen jene Ausflüsse harmloser Heiterkeit jetzt nach Loschmidts Tode noch leuchtend vor meiner Seele.

Dass Loschmidt auch meisterhaft experimentieren konnte, beweist seine Untersuchung über die Diffusion von Gasen ohne poröse Scheidewände. Es gelang ihm da die Lösung eines Problems, an dem sich Graham und Bunsen vergeblich abgemüht hatten: freilich in so einfacher Weise, dass uns das Problem heute gar nicht mehr schwierig vorkommt, und dass später leicht von vielen anderen nach Loschmidts Methode zahlreiche neue wichtige Experimentaluntersuchungen angestellt werden konnten. Auf diese Versuche hat Loschmidt selbst grossen Wert gelegt und er erzählte einmal Stefan mit Stolz, dass er schon für die erste Skizze seines Apparates 10 Gulden bekommen hatte. Dieses Rätsel löste sich dahin, dass er mir diese Skizze einmal abends beim alten Blumenstöckel in Ermangelung anderen Papieres auf die Rückseite einer Zehnguldennote vorgezeichnet hatte, die damals noch nicht wie heute magyarisiert war. Gleich nachdem er die Idee gefasst hatte, ging er an die bei der Beschränktheit der ihm damals zu Gebote stehenden Mittel besonders schwierige Arbeit. Es musste eine so grosse Zahl von Schiebern, Hähnen, Recipienten etc. geschmiert und gedichtet werden, dass er einmal sagte, er fürchte ernstlich, dass seine Versuche eine verhängnisvolle Preissteigerung des Schweinefettes, des einzigen Dichtungsmittels der damaligen Zeit, zur Folge haben könnten.

Aber schliesslich hatte er vollen Erfolg. Also nicht überall fehlte das Gelingen, aber es fällt mir gar nicht ein, hier etwas anderes als die reine Wahrheit zu sagen, und deshalb scheue ich mich keinen Augenblick, auszusprechen, dass in der Mehrheit der Fälle seine Versuche misslangen, teils wegen der Unzulänglichkeit der Mittel, teils aber weil seine Versuche meist zu fein ersonnen und deshalb die Chancen ihres Gelingens zu klein waren. Als ich ihm dies einmal vorhielt, citierte er den Ausspruch Faradays, dass nur der Grosses finde, der Unwahrscheinliches versuche.

Übrigens schlug er in heiterer Selbstironie einmal vor, in Wien ein negatives wissenschaftliches Journal, ein Journal für lauter misslungene Experimente zu gründen. Meine Herren, er ahnte damals selbst nicht, wie interessant es gewesen wäre, wenn er aus diesem Scherze Ernst gemacht hätte. Ich will Ihnen heute einiges sagen, was in dem Journale gestanden wäre. Leider ist die Franklinsche Tafel nicht mehr aufbewahrt, durch welche Loschmidt, nachdem er sie zwischen zwei Nicolsche Prismen gestellt hatte, während der Ladung und Entladung parallel den Seitenflächen durchsah, und auch die Kupferplatte nicht, welche er, genau in derselben Weise montiert, wie es heute behufs Beobachtung des Hall-Effektes geschieht,

in ein starkes magnetisches Feld brachte. Wäre im ersten Falle die Glasplatte homogener, im zweiten Falle die Kupferplatte dünner oder durch eine Wismutplatte ersetzt gewesen, so hätte sich sofort das Kerrsche respektive Hallsche Phänomen gezeigt.

Die von Maxwell, Kirchhoff und Thomson berechnete Theorie der elektrischen Schwingungen beschäftigte uns damals lebhaft. Loschmidt liess Funken zwischen zwei Metallkugeln überspringen und gab sich viel Mühe, das elektrische Mitschwingen zweier genau gleichbeschaffener, in erheblicher Entfernung davon befindlicher Kugeln durch feine Fünkchen zwischen denselben sichtbar zu machen, aber auch diese Versuche misslangen vollständig.

Ich bin selbstverständlich weit davon entfernt, in allen diesen Dingen irgend eine Priorität für Loschmidt beanspruchen zu wollen. Zur Entdeckung gehört vor allem die wirkliche Ausführung der Idee; aber Sie werden mich richtig verstehen, wenn ich sage, dass es kaum einen anderen Menschen gegeben hat, dem so Grosses misslungen ist. Welcher Ideenreichtum gehörte dazu, alle diese Entdeckungen vorauszusehen!

Noch eine Geschichte will ich erzählen. Loschmidt hatte mir und Stefan einmal ausführlich von seinem Plane gesprochen, die Schwingungsrichtung im polarisierten Lichte durch Interferenz zweier aufeinander senkrechter polarisierter Lichtstrahlen zu ermitteln. Bald darauf las Stefan in den Sitzungsberichten der Pariser Akademie vom 18. Mai 1868, S. 932, dass dieselbe einem Autor, dessen Namen nicht genannt war, für diese Idee einen Preis von 2000 Francs verliehen hatte. Ich und Stefan gratulierten Loschmidt bei seinem Eintritte ins Institut. Es hatte aber nicht er, sondern wie sich später herausstellte ein Herr Jenker aus Berlin zur gleichen Zeit der Pariser Akademie dieselbe Idee als Preisschrift zugesandt.

(Schluss folgt.)

REFERATE.

Technische Mechanik.

Besorgt von Prof. E. Meyer.

A. Föppl, München. Die Abhängigkeit der Bruchgefahr von der Art des Spannungszustandes. (Centralblatt der Bauverwaltung 1899, S. 527 und 541.)

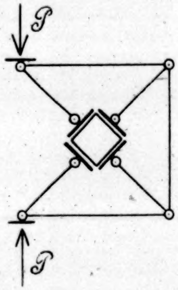
Bei Angaben über die Festigkeit eines Körpers wird häufig angenommen, dass zwei der drei Hauptspannungen gleich Null sind. Wie aber die Bruchgefahr beim allgemeinen Spannungszustande, d. h. wenn keine der drei Hauptspannungen gleich Null ist, zu bemessen sei, darüber gehen die Ansichten noch recht weit auseinander. Von den drei älteren Annahmen setzt die erste voraus, dass die grösste Hauptspannung, die zweite, dass die grösste specifische Dehnung, und die dritte, dass die grösste Schubspannung (Winkeländerung) für die Bruchgefahr massgebend sei. In technischen Kreisen rechnet man unter dem Einfluss von Grashof ziemlich allgemein mit der zweiten Annahme.

Unter den neueren Forschern, die zu ganz anderen Ergebnissen gekommen sind, ist zunächst Mohr (Civilingenieur, 1882, S. 113) zu erwähnen, der jede Beanspruchungsart durch einen bestimmten Kreis wiedergiebt. Der Bruchgrenze entspricht eine aus dem Versuche zu ermittelnde Kurve derart, dass alle Spannungszustände, deren Kreis die Grenzkurve nicht erreicht, auch keine Bruchgefahr herbeiführen. Wehage (Mitt. aus den techn. Versuchsanstalten zu Berlin 1888, S. 89) bestreitet auf Grund von Biegungsversuchen an Platten, dass ein Zug in einer Querrichtung zur Verminderung der durch Zug in der Längsrichtung hervorgerufenen Bruchgefahr führen soll und hält das Umgekehrte für richtig. Wertvolle Versuchsergebnisse zur Beurteilung unserer Frage hat Professor Voigt-Göttingen beigebracht (Wiedem. Ann., Bd. 53, S. 43, 1899 und Bd. 67, S. 452, 1899). Angeregt namentlich durch diese Versuche hat Föppl eine Reihe von Versuchen vorgenommen, die zur Klärung beitragen sollen.

Die Wirkung eines nach allen Seiten gleich grossen Druckes untersuchte er, indem er in einem starken Stahlcylinder Probekörper aus Stein, Cement, Holz und Metallen in Form von Würfeln, Cylindern und Kugeln durch einen wohl abgedichteten Kolben einem allseitigen Flüssigkeits- (Ricinusöl-) Druck bis zu 3500 kg qcm aussetzte. Sandsteinwürfel wurden hierbei in zwei oder mehr Platten durch Bruchflächen, die nach dem Lager verlaufen, gespalten. Cylinder aus Cement wurden ebenfalls gespalten. Wird ihre Oberfläche mit Schellackfirnis angestrichen, so scheinen die Brüche häufiger und bei geringeren Lasten aufzutreten. Bei Cementwürfeln, die mehrere Jahre alt waren, wurden die Ecken abgedrückt, so dass ein nahezu kugelförmiger Kern übrig blieb. Bei Cementwürfeln, die aus der Mitte grösserer, ebenfalls mehrere Jahre hindurch aufbewahrter Stücke herausgearbeitet waren, trat ein Bruch niemals ein.

Holzwürfel waren senkrecht zur Richtung

der Faser stark zusammengedrückt, in der Längsrichtung der Faser dagegen etwas verlängert. Bei Gusseisen konnten bleibende Zusammendrückungen gar nicht, bei Walzkupfer und Zinn unerheblich, bei Blei- und Aluminiumwürfeln dagegen in erheblichem Masse nachgewiesen werden. Abgesehen von den metallischen Probekörpern wurde durch den hohen Flüssigkeitsdruck in alle mehr oder weniger Flüssigkeit eingepresst, so dass man eine hierdurch entstehende Sprengwirkung annehmen kann. Doch neigt Föppl unter Vorbehalt, dass weitere Versuche ausgeführt werden, der Ansicht



zu, dass die Zerstörung durch die Verschiedenheit der Druckfestigkeit in den verschiedenen Richtungen veranlasst wurde.

Bei einem weiteren Spannungszustande, bei dem zwei Hauptspannungen Druckspannungen von gleicher Grösse, die dritte Hauptspannung aber gleich Null ist, sucht Föppl die Festigkeit, die er „Umschlingungsfestigkeit" nennt, zu bestimmen. Er spannt dazu die würfelförmigen Probekörper in ein Druckkreuz nach Figur ein. Dadurch, dass von der Festigkeitsmaschine auf die Druckköpfe des Kreuzes die Kraft P übertragen wird, erhält jede der vier beanspruchten Würfelflächen den Druck $P\sqrt{2}$. Wird ein Cementwürfel im Druckkreuz ohne weitere Vorkehrung zerdrückt, so wird die Umschlingungsfestigkeit $\left(\frac{P_{max}\sqrt{2}}{\text{Würfelfläche}}\right)$ fast doppelt so hoch (70 bis 90 v. H. höher) gefunden als die auf gewöhnliche Art ermittelte Druckfestigkeit. Allein dabei spielt die Reibung zwischen den Würfelflächen und den Druckplatten eine grosse Rolle. Um diese zu beseitigen, wandte Föppl eine Schmiere aus 75 Teilen Stearin und 25 Teilen Talg an, die auf die Würfel in einer Dicke von $^1/_2$ bis 1 mm aufgetragen wird. Der Bruch erfolgt dann ohne jegliches Bruchgeräusch, indem der Probewürfel in 2 bis 5 Platten zerlegt ist und zwar durch Bruchflächen, die zumeist ziemlich genau eben gestaltet und parallel zur Kraftebene gerichtet sind.

Natürlich können diese Versuche mit gewöhnlichen Druckversuchen nur dann verglichen werden, wenn auch bei diesen die Schmierung angewendet wurde. Geschmierte Würfel aus Cement besitzen eine Druckfestigkeit, die nur die Hälfte, solche von natürlichen Steinen eine Druckfestigkeit, die nur $^1/_3$ oder gar $^1/_4$ der bei ungeschmierten Würfeln beobachteten Werte beträgt. Der Würfel zerfällt auch nicht mehr in die bekannten Pyramiden, sondern es entstehen Spaltungsflächen, die parallel zur Kraftrichtung gehen, sonst aber unregelmässig sind. Ähnliche Erscheinungen hat man schon früher beobachtet, wenn man zwischen die Druckflächen von Steinwürfeln und die Druckplatten Beilagen aus Blei oder ähnlichen Stoffen einlegte. Man hat sie durch Einpressen des Bleis in die Probestücke, also durch Sprengwirkung erklärt. Auch hier und ebenso bei den Umschlingungsversuchen steht diese Erklärung offen, doch giebt das Aussehen der Bruchfugen keinen Anhalt dafür. Immerhin ist der Einwand nach der Ansicht von Föppl ein ernster, und so muss es zweifelhaft bleiben, ob durch Versuche mit geschmierten Druckflächen die wahren Werte der Druck- und Umschlingungsfestigkeit wirklich gefunden werden. Nimmt man letzteres an, so würde sich ergeben, dass die Umschlingungsfestigkeit bei Cement, Sandstein und Granit im Mittel ziemlich genau mit der Druckfestigkeit übereinstimmt. Die Übereinstimmung beider Werte liesse sich aber gerade auch aus der Sprengwirkung erklären. Föppl hält einstweilen die erstere Deutung für die wahrscheinlichere.

Zum Schlusse erwähnt Föppl noch die Ergebnisse seiner Biegungsversuche mit kreisförmigen Eisenplatten, die am Umfange allseitig frei aufliegen. Der nach den theoretischen Formeln hieraus berechnete Elasticitätsmodul ergab sich um 7 v. H. niedriger als derjenige, der aus Biegungsversuchen mit balkenförmig gelagerten Eisenblechstreifen abgeleitet war. Dieses Ergebnis kann daher rühren, dass gleichzeitig zwei Hauptspannungen auftreten, aber auch daher, dass die bei der Rechnung benutzte Poissonsche Konstante $m = 3^1/_3$ ungenau ist.

Göttingen, den 21. Decbr. 1899.

E. Meyer.

C. v. Bach, Zur Frage: Besteht bei Sandstein Proportionalität zwischen Dehnungen und Spannungen? (Zeitschr. des Vereines deutsch. Ing. 1899, S. 1402.)

Zur Deutung der in der Physikalischen Zeitschrift I, S. 190 mitgeteilten Grüblerschen Versuche über die Festigkeit von rotierenden Schleifsteinen ist diese Frage von Wichtigkeit, denn die Formeln von Grübler beruhen auf der Annahme, dass für die von ihm unter-

suchten Sandsteine Spannung und Dehnung proportional sind.

v. Bach findet für einen Sandsteinkörper von 2,25 specifischem Gewicht, von 301,15 qcm Querschnitt und 350 mm Messlänge auf Grund einer Zugprobe folgende Zahlen:

Belastung in kg		Dehnung in $^1/_{1200}$ cm	
gesamte	kg/qcm	gesamte	bleibende
40,8	0,135		
1290,8	4,286	1,71	—
2540,8	8,437	4,20	—
3790,8	12,589	7,13	—
5040,8	16,739	10,59	—
40,8	0,135	—	2,02

Dehnungsunterschied
für je 4,151 kg/qcm Spannungsunterschied

1,71
2,49
2,93
3,46

Die Dehnungen wachsen also bei dem untersuchten Sandstein weit rascher als die Spannungen. Auf der vierten Belastungsstufe ist die Dehnung sogar reichlich doppelt so gross als auf der ersten. Der Dehnungskoefficient (reciproke Wert des Elasticitätsmodul) nimmt somit innerhalb des untersuchten Spannungsbereiches auf über das Doppelte zu. Infolgedessen fällt bei rotierenden dickwandigen Hohlcylindern die Beanspruchung der innersten, am stärksten angestrengten Faser erheblich geringer aus, als sie sich aus den Grüblerschen Gleichungen unter Annahme des konstanten Elasticitätsmoduls berechnet. Dehnungsversuche mit dem von Professor Grübler untersuchten Sandsteinmaterial stehen bevor.

Göttingen, den 21. Decbr. 1899.

E. Meyer.

A. Martens, Zur Frage der Abhängigkeit der Bruchgefahr von der Art des Spannungszustandes. (Centralblatt der Bauverwaltung 1899, S. 590.)

Martens ist der Ansicht, dass bei den eben genannten Föpplschen Druckversuchen mit Schmierung jedenfalls eine Sprengwirkung stattgefunden hat. Diese Wirkung hat Bauschinger in seinen Arbeiten seit 1873 bereits ausführlich erörtert (s. Handbuch der Materialienkunde von Martens, Abs. 105, 167 und 250). Martens führt folgenden Versuch aus: Wird ein in seinen Endflächen fein polierter Bleiwürfel mit einer Spiegelglasplatte als Zwischenlage einem Druck von 350 bis 450 kg/qcm ausgesetzt, wobei 4 mm bleibende Höhenverminderung entsteht, so wird die Bleidruckfläche sehr schwach konvex gewölbt (wegen der Durchbiegung der auf einem dünnen Papier auf der Druckplatte der Maschine liegenden Glasplatte), bleibt aber vollkommen glatt und spiegelnd. Wird aber in der Mitte der spiegelglatten Bleifläche eine wenig zähe Schmiere aus Wachs und Vaseline aufgetragen, die sich nachher gleichmässig verteilt, so zeigen sich bei Ausführung des gleichen Druckversuches auf der Druckfläche des Bleikörpers scharf geprägte Furchen, als ob das Gefüge durch eine saubere Ätzung in seinen Einzelheiten freigelegt sei. Die Furchen sind in der Mitte tiefer als am Rande, die Druckfläche ist jetzt schwach konkav. Dies rührt ohne Zweifel von dem Flüssigkeitsdruck der Schmiere her. So wie die letztere hier eine Wirkung auf die Oberfläche ausübt, entsteht aber sicherlich durch ihre Einwirkung eine Sprengwirkung selbst bei homogenen Körpern.

Göttingen, den 21. Decbr. 1899.

E. Meyer.

Allgemeine Chemie.

Besorgt von Professor Dr. R. Abegg.

G. Bredig und R. Müller von Berneck, Über anorganische Fermente.[1])

I. Die Platinkatalyse und die chemische Dynamik des Wasserstoffsuperoxyds.

Katalyse ist nach Ostwalds Definition die Beschleunigung eines langsam verlaufenden chemischen Vorganges durch die Gegenwart eines fremden Stoffes. Von der allergrössten Wichtigkeit sind derartige Reaktionsbeschleunigungen in der biologischen Chemie, wo dieselben überaus verbreitet sind und durch organische und organisierte oder anders ausgedrückt, durch ungeformte und geformte Fermente hervorgerufen werden. Die Wichtigkeit dieser katalytischen Reaktionen ist eine so grosse, dass C. Ludwig in seinem Lehrbuch der Physiologie schreibt: „Es dürfte leicht dahin kommen, dass die physiologische Chemie ein Teil der katalytischen würde."

Es ist nun aber eine schon längst bekannte Thatsache, dass es in der anorganischen Chemie Vorgänge giebt, welche in ganz auffallender Analogie zu den Fermentwirkungen der organischen Welt stehen, dieses sind namentlich die Kontaktwirkungen feinverteilter Metalle, z. B. des Platinmohr. Auch die schon längst bekannten kolloidalen Metalllösungen wirken heftig katalysierend. Nachdem nun Bredig 1898 reine kolloidale Metalllösungen durch Zerstäubung von Metalldrähten in reinem Wasser mit Hülfe des elektrischen Lichtbogens herzu-

1) Zeitschr. physik. Chem. 31, 258, 1899.

stellen gelehrt, hat man die Möglichkeit in der Hand, die Wirkungen der kolloidalen Metalle durch Verdünnen ihrer Lösungen beliebig zu variieren und nunmehr quantitativ diese Vorgänge mit Hülfe der Methoden der chemischen Kinetik zu verfolgen. Die Verfasser führen diese Untersuchung am Wasserstoffsuperoxyd durch, dessen Zerfall unter dem Einfluss Bredigscher Platinflüssigkeit sie eingehend studieren. Die Ähnlichkeit dieses Vorganges mit den organischen Fermentwirkungen findet sich nicht nur bestätigt, sondern es findet sogar eine unerwartet weitgehende Analogie beider statt. Die Beschleunigung der Wasserstoffsuperoxydzersetzung findet noch in einer Verdünnung von 1 Grammatom Platin auf etwa 70 Millionen Liter Wasser in merkbarer Weise statt. Der Vorgang des Zerfalls von Wasserstoffsuperoxyd erweist sich den quantitativen Bestimmungen zufolge als eine monomolekulare Reaktion. Die Katalyse nimmt mit der Platinkonzentration bei rein wässeriger Lösung nach einer einfachen Exponentialfunktion zu.

Die Analogie der Platinflüssigkeit mit organischen Fermentlösungen zeigt sich auch in der gleichartigen Änderung, welche langsam von selbst, rascher aber bei gewissen Zusätzen (Elektrolyten) und beim Erwärmen erfolgt, und in einem Rückgang der katalytischen Wirksamkeit besteht. Die auffallendste Ähnlichkeit bilden aber wohl die Vergiftungserscheinungen, welche man bei den Fermenten auf Zusatz minimaler Mengen gewisser Stoffe beobachtet (besonders Blausäure, Schwefelwasserstoff und Sublimat) und welche bei der Platinflüssigkeit in ganz derselben Art beobachtet werden. Sogar die bei den Fermenten konstatierten Erholungserscheinungen nach der Vergiftung finden sich wieder.

Die Resultate dieser höchst interessanten Arbeit zeigen somit, wie weitgehend die neuen Anschauungen und Hülfsmittel der physikalisch-chemischen Forschung geeignet sind, auch in das Gebiet der höchst komplicierten biologisch-chemischen Vorgänge hinein als lichtvolle Wegweiser und Waffen zu dienen. E. Bose.

Berichtigung.

Von Herrn H. Goldschmidt-Heidelberg werde ich freundlicher Weise auf ein Versehen aufmerksam gemacht, welches ich bei den Schlüssen aus der von mir (diese Ztschr. Heft 19, S. 212) berechneten Dissociationswärme der Violursäure begangen habe. In der thermodynamischen Gleichung handelt es sich nämlich um die in das chemische System eintretende Wärme, die bei Flusssäure negativ ist, was einer in thermochemischem Sinne positiven Wärmetönung entspricht. Die Wärmetönung der Violursäure- wie der Wasserdissociation ist aber negativ, so dass als Analogie zwischen den Dissociationswärmen der Flusssäure und der anderen genannten Stoffe nur die Grösse, nicht aber der Sinn der Wärmetönung übrig bleibt. Dadurch verlieren die bezüglich des Stattfindens intramolekularer Reaktionen von mir gezogenen Schlüsse einen Teil ihrer Sicherheit, wenn auch die Thatsache übrig bleibt, dass grosse (sei es positive oder negative) Dissociationswärmen sich überall dort finden, wo eine innere Umlagerung wahrscheinlich oder möglich ist. Auf diesen Zusammenhang ist übrigens bereits von Hantzsch und Guinchard (Ber. der Deutsch. Chem. Gesellsch. 32, 3074. 1899) hingewiesen worden, nur dass statt der Dissociationswärme der ihr proportionale Temperaturkoefficient der Affinitätskonstante betrachtet wurde. Jedenfalls bleibt es möglich, die Annahme zu machen und weiter zu prüfen, dass die Ionisation selbst eine nur geringe Wärmetönung bedingt, und dass eine grosse Wärmetönung von einer damit verbundenen intramolekularen Reaktion herrührt, die je nach ihrer speciellen Natur positiv (Flusssäure) oder negativ (Violursäure, Wasser) sein müsste.

Breslau, 16. Febr. 1900.

R. Abegg.

Briefkasten.

In No. 20 der „Physikalischen Zeitschrift" behandelt Herr A. Schuster die Korrektion wegen der Spiegelneigung bei Winkelmessung durch Spiegelablesung als wenig oder gar nicht bekannt. Dem gegenüber ist darauf hinzuweisen, dass diese Korrektion schon seit Jahren in deutschen Lehrbüchern zu finden ist. Vgl. F. Kohlrausch, Praktische Physik 6. Aufl. S. 164, Leipzig 1887, sowie des Unterzeichneten „Hülfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen" S. 15, Leipzig 1892.

Breslau, 18. Febr. 1900.

A. Heydweiller.

Anmerkung der Herausgeber: Inzwischen teilt uns Herr Professor P. Czermak in Innsbruck mit, dass auch er bereits in seinen „Tabellen zur Gauss-Poggendorffschen Spiegelablesung" (Berlin 1890, Springer) auf S. 16 nach einer Anregung von Professor Lippich die fragliche Korrektion mit einer für praktische Zwecke ausreichenden Annäherung angegeben hat. „Schusters Darstellung ist viel allgemeiner und sehr elegant, aber die Bemerkung, dass dieser Fehler noch von niemanden berücksichtigt würde, ist nicht richtig."

Wir bemerken zu diesen Zuschriften: Herr Schuster hatte in einem seine Arbeit begleitenden Briefe auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die von ihm gegebene Korrektion schon anderweitig mitgeteilt sein könnte. Daraufhin hat der eine von uns die Abhandlungen des Herrn F. Kohlrausch durchgesehen, da wir hier eine darauf bezügliche Angabe vermuteten; da der Erfolg der Durchsicht ein negativer war, so haben wir die Arbeit des Herrn Schuster gedruckt. Die ausführliche Behandlung der Korrektion dürfte immerhin nicht überflüssig sein.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.